

Senzorový systém pro testování úrovně tepelné ochrany pracovních rukavic

David Kalaš

Katedra technologií a měření
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
kalasd@ket.zcu.cz

Sensor System for Testing the Level of Thermal Protection Work Gloves

Abstract – This paper deals with the development of multiplexer system intended for data collection and data processing. The introduction of this paper presents and describes selected temperature sensors and concept of data processing. The practical part is focused on the design, realization and characterization of the sensor system used for testing thermal protection level of work gloves including the 3D visualization of measured temperature data.

Keywords – 3D visualization; Sensor system; Temperature measurement.

I. ÚVOD

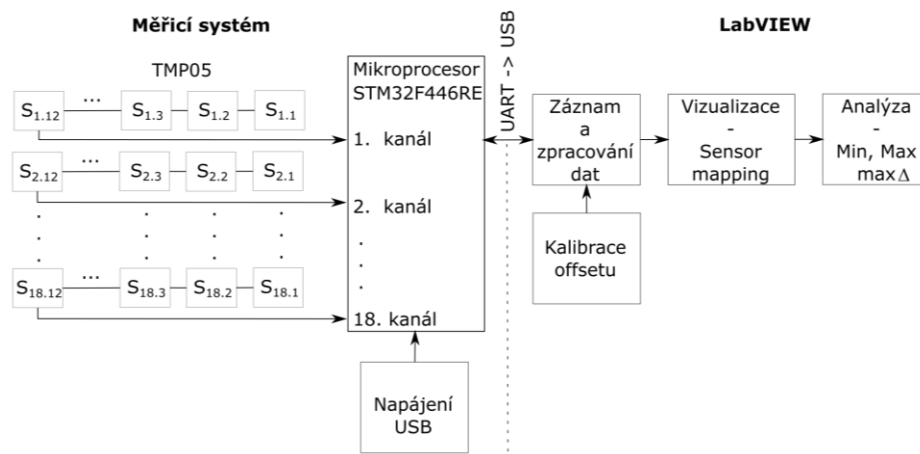
Aktuálně neexistuje nikde na území České republiky systém, který by byl schopen měřit reálné rozložení teploty uvnitř ochranných a zásahových rukavic určených pro hasičský záchranný sbor a pracovníky v tepelně exponovaných průmyslových provozech. Všechna současná testování pracují pouze se sendvičovým uspořádáním základních materiálů rukavice. Tepelná odolnost rukavice je přitom ovlivněna například materiály, které nejsou na celé ploše rukavice (výztuhy, pěnové výplně, reflexní a designové prvky), technologií spojování (sešívání, lepení nebo svařování) a samotnou konstrukcí rukavice (tzn. z kolika dílů se rukavice skládá a v jakých místech se nachází jednotlivé spoje a vrstvy). Tato práce je zaměřena na návrh a realizaci způsobu vícekanálového měření teploty pro testování tepelné odolnosti pracovních rukavic. První část se zabývá popisem senzorů teploty a jejich charakterizací, dále pak praktickou realizací vyhovujícího senzorového pole. Naměřená data jsou využita pro vizualizaci rozložení tepelného pole na 3D modelu lidské ruky.

II. REALIZACE SENZOROVÉHO SYSTÉMU

Základní požadavky na měřicí systém byly: měření teploty minimálně na 200 pozicích uvnitř ochranné rukavice, perioda měření do 2 s a přesnost měření ± 1 °C. Na základě požadavků byl vybrán senzor TMP05 od Analog Devices, který umožňuje zřetěžené zapojení, nebo-li tzv. „Daisy chaining“. Doba měření teploty jednoho čipu se pohybuje kolem 120 ms. Informace o teplotě je nadřazenému systému předávána formou PWM pulzů. [1]

A. Architektura systému

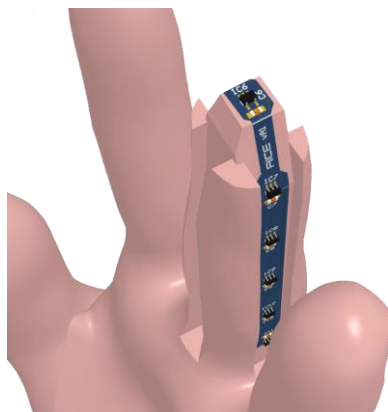
S ohledem na zvolené senzory teploty byla zvolena sériovo-paralelní struktura měřicího řetězce. Maximální délka jednoho sériového řetězce byla stanovena na 12 senzorů. K zpracování byl použit mikroprocesor od firmy STmicroelectronics s 12-ti čítači a celkem 32-ti input-capture kanály, kterým jsou detekovány jednotlivé hrany pulzních signálů teplotních senzorů. UART s převodníkem na USB zprostředkovává komunikaci s nadřazeným systémem realizovaným ve vývojovém prostředí LabVIEW (Obrázek I.). [1]



Obrázek I. Architektura měřicího systému

B. Model lidské ruky a realizace senzorových elementů

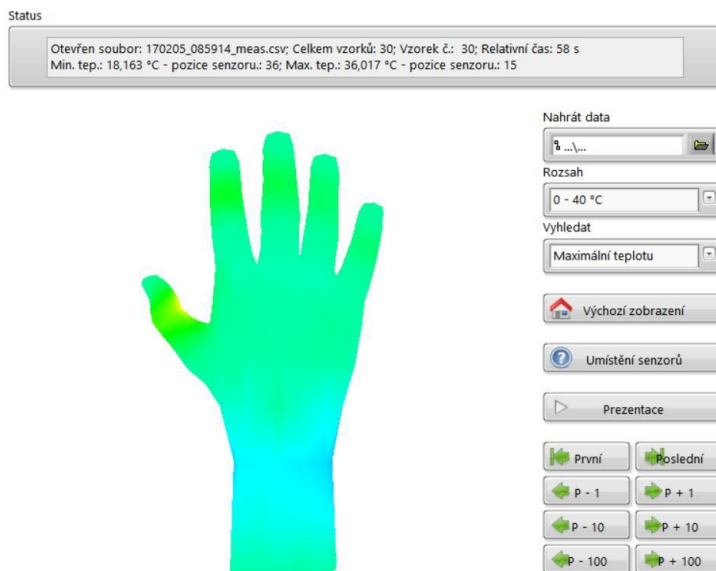
Model lidské ruky pro montáž senzorového systému byl vyroben pomocí 3D tisku z Polyamidu PA6 plněného krátkými uhlíkovými vlákny a tepelnou vodivostí 0,28 W/(m.K). Rozměry modelu vychází z normovaných modelů pro ponorem vyráběné gumové rukavice. Rukavice budou tepelně namáhány statickým sálavým zdrojem tepla, z toho důvodu bude model umístěn na otočné platformě s rozsahem rotace $\pm 180^\circ$ s možností naklápění až o $\pm 60^\circ$. Model má na povrchu drážky pro montáž flexibilních plošných spojů s teplotními senzory a kabeláž. Jednotlivé řetězce senzorů jsou umístěny na dvouvrstvém kaptonovém flexibilním substrátu Pyralux AP8545R o tloušťce 100 μm s 18 μm vrstvou mědi a nepájkovou maskou o tloušťce 10 μm . Charakteristická impedance signálových cest je 50 Ω . Plošné spoje jsou umístěny v drážkách o šířce 7 mm (Obrázek II.) a z důvodu zvýšení mechanické odolnosti a zachování rovinnosti plochy jsou drážky s flexibilními substráty vyplněny zalévací hmotou. [1]



Obrázek II. Umístění flexibilního plošného spoje na modelu ruky

C. Zpracování a vizualizace dat

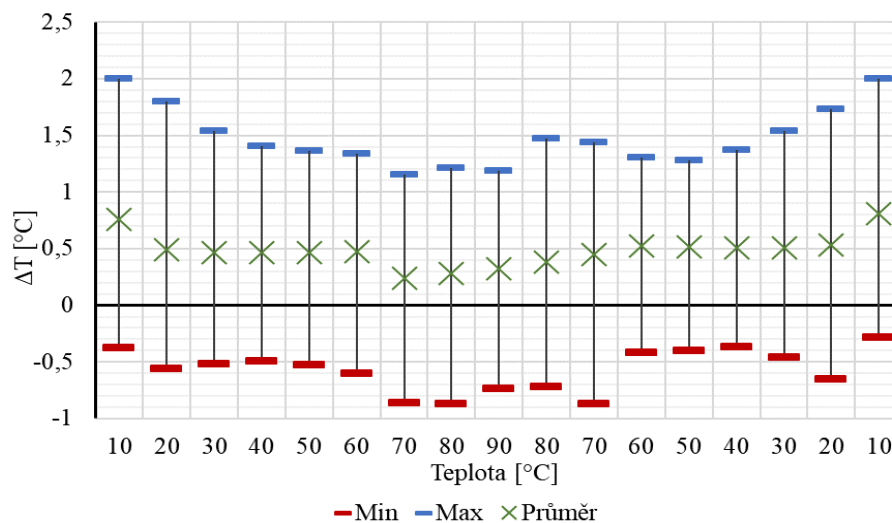
Aplikace je postavena na principu stavového automatu reagujícího na události vyvolané uživatelem s třemi nezávislými smyčkami pro měření, vizualizaci a analýzu dat. Část *Měření* řídí frekvenci vzorkování teploty, kalibraci naměřených dat a jejich ukládání do souboru. Blok *Vizualizace* pracuje s naměřenými teplotami a jejich zobrazením na 3D modelu lidské ruky. *Analýza* slouží k sledování vývoje teploty na konkrétním místě ruky v čase. [1]



Obrázek III. 3D vizualizace teploty na modelu lidské ruky

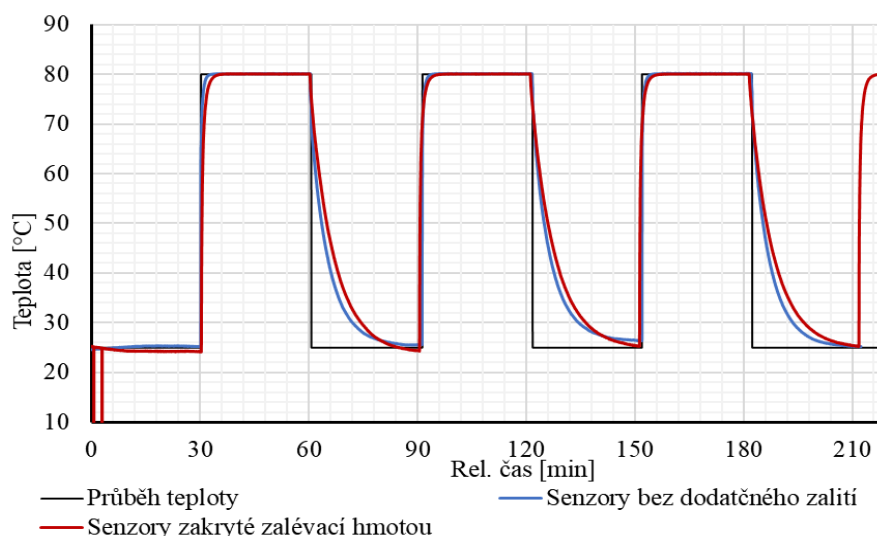
III. CHARAKTERIZACE SENZOROVÉHO SYSTÉMU

Charakterizace systému probíhala v termostatické olejové lázni při schodovitém teplotním profilu s teplotou od 10 do 90 °C s krokem 10 °C. Maximální průměrná chyba měření teploty senzorovým polem se pohybuje kolem +0,7 °C (Obrázek IV.). Přesnost měření lze zvýšit dodatečnou kalibrací celého systému. [1]



Obrázek IV. Odchylka měření při schodovitém měřicím průběhu

Dynamická odezva systému byla měřena při skokové změně teploty ze vzduchu o teplotě 25 °C do oleje o teplotě 80 °C. Sensory nekryté zalévací hmotou reagují na náběh teploty po 3 s, u zalitých sensorů se odezva prodlouží na 19 s. Opačná změna teploty je ovlivněna tepelnou setrvačností modelu ruky. Naměřená teplota dosahuje 63,2 % skutečné teploty u nezalitých sensorů po 260 s a u zalitých pak 370 s (Obrázek V.). [1]



Obrázek V. Dynamická odezva sensorů při skokové změně teploty z 25 na 80 °C

IV. ZÁVĚR

Byl realizován systém vícekanálového měření teploty. Dále byl navržen tvar flexibilního plošného spoje a způsob jeho integrace do modelu ruky. Pro snadné zpracování, vyhodnocení a vizualizaci naměřených dat byl vytvořen obslužný program. Na závěr byl celý systém teplotně charakterizován. Pro zlepšení dynamických parametrů systému by měl být v další fázi vývoje model ruky odlehčen a upraven do skořepinového tvaru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-020: Technologické a materiálové systémy v elektrotechnice.

LITERATURA

- [1] KALAŠ, David. Sensorový systém pro testování úrovně tepelné ochrany pracovních rukavic. Plzeň, 2017. Diplomová práce (Ing.). ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Fakulta elektrotechnická